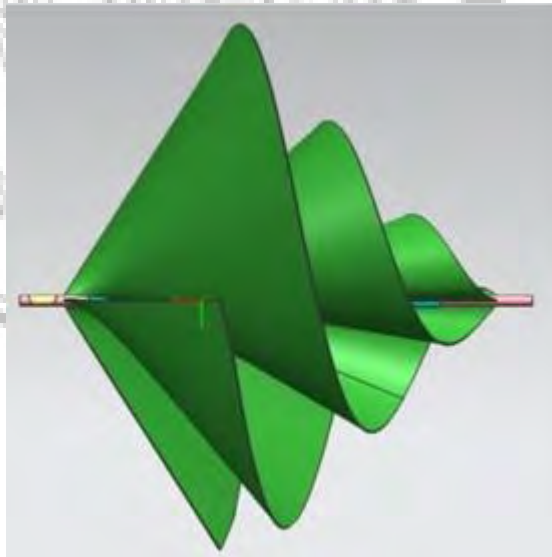


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Desain Sudu *Archimedes Windmill*

Turbin angin *Archimedes windmill*, yang merupakan konsep baru dari model HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbin*), dirancang dengan menggunakan prinsip-prinsip spiral Archimedes. Tidak seperti HAWT tradisional yang menggunakan gaya angkat untuk mengambil alih energi angin, *Archimedes windmill* menggunakan gaya angkat serta gaya tarik. *Archimedes windmill* dapat memanfaatkan energi kinetik dari energi angin. Struktur khusus inilah yang menentukan karakteristik aerodinamika dari jenis turbin ini. Secara khusus, kelebihan struktur spiral dari *Archimedes windmill* mampu diaplikasikan dalam berbagai keadaan, karena jenis turbin angin ini mampu beroperasi pada kecepatan angin yang relatif rendah sekalipun. Selain itu, *Archimedes windmill* dapat mengikuti arah angin secara otomatis karena terdapat bantalan pada tumpuan pondasi konstruksi yang dikendalikan secara pasif karena gaya *drag*.



Gambar 2.1 Skema blade *Archimedes windmill*

(Sumber: *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade*)

Gambar 2.1 menunjukkan diagram skematik dari *Archimedes windmill* dengan kapasitas daya 0.5 kW. Tiga baling-baling dihubungkan satu sama lain dengan sudut sebesar 120° dan masing-masing sudu memiliki susunan yang simetris di sekitar poros dan bentuknya mirip dengan piramida segitiga. Diameter luar *Archimedes windmill* untuk kapasitas 0,5 kW adalah 1,5 m. Persamaan aerodinamis untuk memprediksikan torsi yang berhubungan dengan kecepatan sudut diperkirakan dengan menggunakan empat asumsi berikut:

1. Fluida *incompressible* dan aliran *steady*.
2. Fluida yang bergerak menuju volume atur sejajar dengan sumbu yang berputar.
3. Jumlah aliran massa pada tiga *outlet blade* sama satu dengan yang lain.
4. Kecepatan *outlet* relatif konstan dan arah kecepatan sejajar dengan arah tangensial tepi sudu.

Menurut Kyung Chun Kim et al (2014) untuk menyediakan torsi dan tenaga pada *Archimedes windmill*, persamaan momentum pada volume aturnya dapat diketahui menggunakan persamaan (2.1).

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} (r \times V) \rho d\bar{V} + \int_{CV} (r \times V) \rho V \cdot \hat{n} dA = \sum (r \times F) \dots\dots\dots (2.1)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

- CV : Volume atur
V : Kecepatan angin (m/s)
r : Panjang lengan sudu (m)
F : Gaya sudu (N)
A : Luas permukaan sudu (m²)

Persamaan (2.1) merupakan persamaan momentum sudut berdasarkan volume atur. Dengan asumsi aliran *steady*, maka persamaannya dapat disederhanakan menjadi persamaan (2.2).

$$\int_{CV} (r \times V) \rho V \cdot \hat{n} dA = \sum (r \times F) \dots \dots \dots (2.2)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

CV : Volume atur

V : Kecepatan angin (m/s)

r : Panjang lengan sudu (m)

F : Gaya sudu (N)

A : Luas permukaan sudu (m²)

persamaan kontinuitas pada volume atur tetap ditunjukkan oleh Persamaan (2.3).

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho d\bar{V} + \int_{CV} \rho W \cdot \hat{n} dA = 0 \dots \dots \dots (2.3)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

\bar{V} : Kecepatan absolut angin pada sisi masuk sudu (m/s)

ρ : Rapat massa udara (kg/m³)

W : Kecepatan relatif angin pada sisi masuk sudu (m/s)

A : Luas permukaan *blade* (m²)

Dari asumsi aliran *steady*, maka persamaan (2.3) menjadi nol karena kerapatannya konstan. Persamaan (2.3) dapat disederhanakan lagi menjadi persamaan (2.4).

$$-m_{in} + m_{out} = 0 \dots \dots \dots (2.4)$$

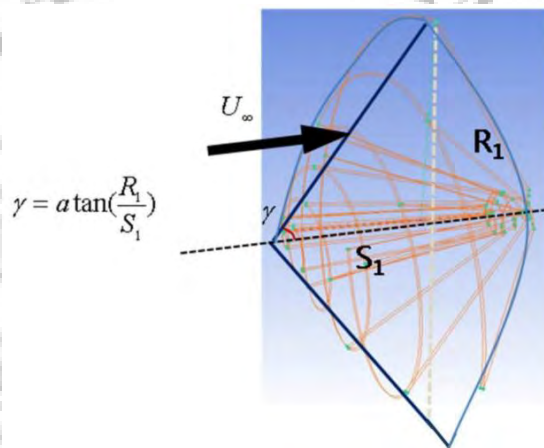
(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

\dot{m}_{in} : Aliran massa udara yang masuk melalui sudu (kg/s)

\dot{m}_{out} : Aliran massa udara yang keluar melalui sudu (kg/s)

Parameter bentuk dapat didefinisikan sebagai pengembangan persamaan-persamaan yang lain. Parameter bentuk meliputi γ , R_1 , dan S_1 , seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Pertama, γ didefinisikan sebagai sudut antara sumbu rotasi dengan ujung *blade*, R_1 adalah jarak vertikal ujung *blade* terluar dari sumbu rotasi, R_2 adalah jarak vertikal ujung *bladeterdalam* dari sumbu rotasi dan S_1 adalah jarak horisontal antara ujung sudu depan hingga bagian belakang.



Gambar 2.2 Bentuk parameter dari Archimedes windmill.

(Sumber: *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade*)

Aliran massa udara pada arus masuk dan aliran massa udara arus keluar didefinisikan oleh Persamaan (2.5) dan (2.6) dengan menggunakan parameter bentuk yang telah ditentukan sebelumnya.

$$\dot{m}_{in} = \rho U_{\infty} \sin \gamma \times \pi \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) S_1 (\text{kg/s}) \dots \dots \dots (2.5)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

\dot{m}_{in} : Aliran massa udara yang masuk melalui sudu (kg/s)

- ρ : Rapat massa udara (kg/m^3)
 U_∞ : kecepatan aliran bebas dari udara (m/s)
 γ : Sudut antara sumbu rotor dengan ujung *blade*($^\circ$)
 R_1 : Jari-jari sudu terluar (m)
 R_2 : Jari-jari sudu terdalam (m)
 S_1 : Jarak horisontal antara ujung *blade* (m)

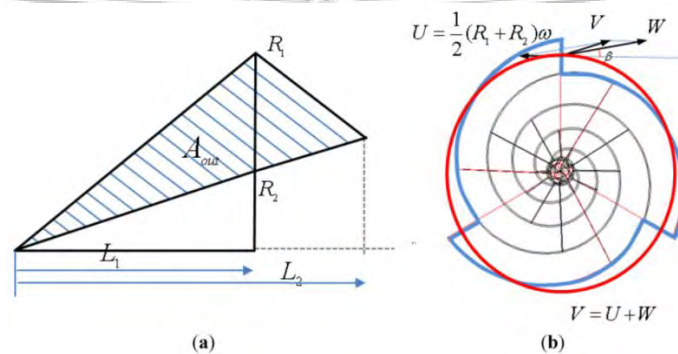
$$\dot{m}_{out} = 3\rho A_{out}W_\theta(\text{kg/s}) \dots\dots\dots(2.6)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

- \dot{m}_{out} : Aliran massa udara yang keluar melalui sudu (kg/s)
 ρ : Rapat massa udara (kg/m^3)
 W_θ : Komponen tangensial untuk kecepatan relatif (m/s)
 A_{out} : Hasil penjumlahan luasan A_1 dan A_2 (m^2)

Parameter bentuk tambahan dapat diturunkan melalui prosedur geometris, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Gambar 2.3a menyajikan diagram skematik area *outlet* dan spesifikasi relatif. Dari gambar 2.3a, A_{out} dapat ditunjukkan oleh daerah A_1 dan A_2 dengan menggunakan parameter bentuk, seperti yang ditunjukkan persamaan (2.7) dan (2.8).



Gambar 2.3 Definisi A_{out} , U , V and W

(Sumber: *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade*)

$$A_{out} = A_1 + A_2 \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$A_{out} = \frac{1}{2}R_1L_1 - \frac{1}{2}R_2L_1 + \frac{1}{2}(R_1 - R_2)(L_2 - L_1) = \frac{1}{2}(R_1 - R_2)L_2 \text{ (m}^2\text{)} ..(2.8)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

A_1 : Luas area sisi keluar 1 (m²)

A_2 : Luas area sisi keluar 2 (m²)

R_1 : Jari-jari sudu terluar (m)

R_2 : Jari-jari sudu terdalam (m)

L_1 : Jarak antara titik (x) yang tegak lurus terhadap ujung pisau terluar (R_1) (m)

L_2 : Jarak antara titik (x) dengan sisi luar sudu yang tegak lurus terhadap ujung pisau terdalam (R_2) (m)

Gambar 2.3b menunjukkan segitiga kecepatan pada batas *outlet*, yang merupakan hubungan geometris antara kecepatan relatif udara (W), kecepatan absolut udara (V) dan kecepatan tangensial udara (U). Dalam kasus ini, β adalah sudut antara W dan U , dan \dot{m}_{out} dinyatakan sebagai persamaan (2.9).

$$\dot{m}_{out} = 3\rho A_{out} W_{\theta} = 3\rho \frac{1}{2}(R_1 - R_2)L_2 \times W \cos \beta \text{ (kg/s)} \dots\dots\dots(2.9)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

\dot{m}_{out} : Aliran massa udara yang keluar melalui sudu (kg/s)

ρ : Rapat massa udara (kg/m³)

W_{θ} : Komponen tangensial untuk kecepatan relatif udara (m/s)

- W : Kecepatan relatif udara pada sisi masuk sudu (m/s)
 β : Sudut antara W_θ dengan W ($^\circ$)
 R_1 : Jari-jari sudu terluar (m)
 R_2 : Jari-jari sudu terdalam (m)
 L_2 : Jarak antara titik (x) dengan sisi luar sudu yang tegak lurus terhadap ujung pisau terdalam (R_2) (m)

Karena $m_{in} = m_{out}$

$$\rho U_\infty \sin \gamma \times \pi \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) S_1 = \frac{3}{2} \rho (R_1 - R_2) L_2 \times W \cos \beta \text{ (kg/s)} \dots\dots\dots (2.10)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

- ρ : Rapat massa udara (kg/m^3)
 U_∞ : kecepatan aliran udara bebas (m/s)
 γ : Sudut antara sumbu rotor dengan ujung *blade* ($^\circ$)
 S_1 : Jarak horisontal antara ujung sudu (m)
 R_1 : Jari-jari sudu terluar (m)
 R_2 : Jari-jari sudu terdalam (m)
 L_2 : Jarak antara titik (x) dengan sisi luar sudu yang tegak lurus terhadap ujung pisau terdalam (R_2) (m)
 W : Kecepatan relatif udara pada sisi masuk sudu (m/s)
 β : Sudut antara W_θ dengan W ($^\circ$)

Maka didapat:

$$W = \frac{\pi U_\infty \sin \gamma (R_1 + R_2) S_1}{3 (R_1 - R_2) L_2 \cos \beta} \dots\dots\dots (2.11)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

W : Kecepatan relatif angin pada sisi masuk sudu (m/s)

U_{∞} : kecepatan aliran udara bebas (m/s)

γ : Sudut antara sumbu rotor dengan ujung *blade* ($^{\circ}$)

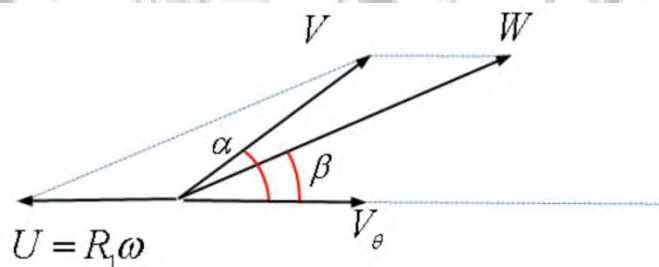
S_1 : Jarak horisontal antara ujung sudu (m)

R_1 : Jari-jari sudu terluar (m)

R_2 : Jari-jari sudu terdalam (m)

L_2 : Jarak antara titik (x) dengan sisi luar sudu yang tegak lurus terhadap ujung pisau terdalam (R_2) (m)

β : Sudut antara W_{θ} dengan W ($^{\circ}$)



Gambar 2.4 Segitiga kecepatan pada batas outlet *blade*.

(Sumber: *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade*)

Gambar 2.4 menunjukkan segitiga kecepatan U , V dan W . α adalah sudut antara V dan V_{θ} . V_{θ} berarti komponen tegak lurus dari V pada batas outlet. Kecepatan absolut (V) dapat dinyatakan pada persamaan (2.12).

$$V^2 = W^2 + U^2 - 2WU \cos \beta, V_{\theta} = V \cos \alpha \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (2.12)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

V : Kecepatan absolut aliran udara (m/s)

W : Kecepatan relatif angin pada sisi masuk sudu (m/s)

U : Kecepatan tangensial sisi masuk sudu (m/s)

- β : Sudut antara V_θ dengan W ($^\circ$)
 α : Sudut antara V_θ dengan V ($^\circ$)
 V_θ : Komponen tangensial untuk kecepatan absolut (m/s)

Dari Persamaan (2.12), α yang didefinisikan oleh sudut antara V dan V_θ , dapat diwakili oleh Persamaan (2.13).

$$\sin \alpha = \frac{V_\theta}{V} \quad (2.13)$$

$$\cos \alpha = \frac{W}{V} \quad (2.14)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

- V : Kecepatan absolut angin (m/s)
 V_θ : Kecepatan relatif angin pada sisi masuk sudu (m/s)
 β : Sudut antara W_θ dengan W ($^\circ$)
 α : Sudut antara V_θ dengan V ($^\circ$)

Momen transfer fluida oleh sudu sama besarnya dengan torsi, dan memiliki arah yang berlawanan.

$$\int_{CV} (r \times V) \rho V \cdot \hat{n} dA = \int_{CV} (r V_\theta - \alpha) \rho (V - \alpha) dA = \int r dA \dots (2.15)$$

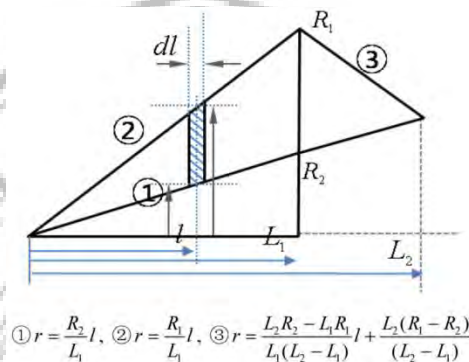
(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

- T : Torsi sudu (Nm)
 CV : Volume atur
 V : Kecepatan absolut angin (m/s)

- r : Panjang lengan sudu(m)
 α : Sudut antara V_θ dengan V ($^\circ$)
 ρ : Rapat massa udara (kg/m^3)

Gambar 2.5 menyajikan skema dimensi sudu, seperti yang ditunjukkan, maka persamaan (2.16) dapat diperoleh.



Gambar 2.5 Skema dimensi sudu

(Sumber: *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade*)

$$T_{\text{sudu}} = 3\rho V_\theta^2 \times \frac{(R_2 - R_1)}{6L_1(L_2 - L_1)} \times [R_2(2L_2^3 + L_1^3 + L_1L_2^3) - L_1R_1(L_1 + L_2)^2](\text{Nm}) \quad (2.16)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

- T_{sudu} : Torsi sudu (Nm)
 R_1 : Jari-jari sudu terluar (m)
 R_2 : Jari-jari sudu terdalam (m)
 L_1 : Jarak antara titik (x) yang tegak lurus terhadap ujung pisau terluar (R_1) (m)
 L_2 : Jarak antara titik (x) dengan sisi luar sudu yang tegak lurus terhadap ujung pisau terdalam (R_2) (m)
 ρ : Rapat massa udara (kg/m^3)
 V_θ : Komponen tangensial untuk kecepatan absolut (m/s)

Sementara itu, kekuatannya adalah hasil perkalian torsi dengan kecepatan sudut, dan dapat dinyatakan dengan persamaan (2.17).

$$P_{sudu} = T_{sudu} \times \omega (\text{Watt}) \dots \dots \dots (2.17)$$

(Kyung Chun Kim et al, *Experimental and Numerical Study of the Aerodynamic Characteristics of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade* 2014)

Keterangan:

P_{sudu} : Daya sudu (Watt)

T_{sudu} : Torsi sudu (Nm)

ω : Kecepatan sudut sudu (rad/s)

2.2. Konsep Jumlah *Blade*

Jumlah *blade* pada sudu bervariasi, dan tidak ada tinjauan teoritis yang benar sebagai konsep terbaik, tetapi lebih ditentukan oleh jenis penggunaannya, misalnya untuk pembangkit listrik atau pompa air, serta kecepatan angin saat rotor mulai berputar.

1. Konsep dua *blade*

Konsep dua *blade* ini mudah untuk setimbang, tetapi kesetimbangannya masih mudah bergeser. Desain *blade* harus memiliki kelengkungan yang tajam untuk dapat menangkap energi angin secara efektif, tetapi pada kecepatan angin rendah (sekitar 3 m/s) putarannya sulit dimulai.

2. Konsep tiga *blade*

Konsep ini lebih setimbang dan kelengkungan *blade* lebih halus untuk dapat menangkap energi angin secara efektif. Konsep ini paling sering dipakai pada turbin komersial.

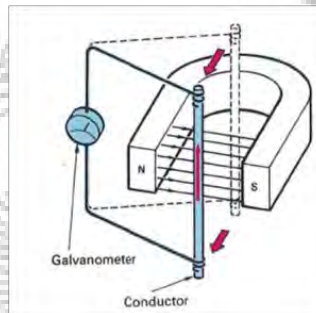
3. Konsep multi *blade* (misalnya 12 *blade*)

Konsep ini justru memiliki efisiensi rendah, tetapi dapat menghasilkan momen gaya awal yang cukup besar untuk mulai berputar, cocok untuk kecepatan angin rendah walaupun dioperasikan dengan transmisi *gear* sampai 1:10. Memiliki profil *blade* yang tipis, kecil, kelengkungan halus,

dan konstruksiyang solid. Konsep ini banyak dijumpai pada turbin angin untuk keperluan memompaaair, menggiling biji-bijian, karena murah dan mampu bekerja pada kecepatan anginrendah sehingga tiangtidak perlu terlalu tinggi dan air dapat dipompa secara kontinu.

2.3. Generator Listrik

Generator listrik adalah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber mekanik dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Konsep generator pertama kali ditemukan oleh *Michael Faraday* yang berkebangsaan Inggris, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hukum Faraday

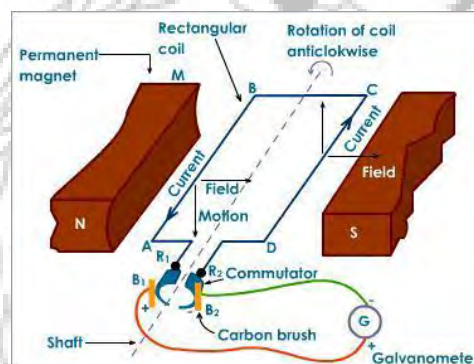
(Sumber: Onny. 2017. Prinsip Kerja Generator AC. artikel-teknologi.com. 6 Oktober 2017)

Dari gambar di atas, bila konduktor digerakkan maju mundur antara kutub utara dan kutub selatan maka jarum galvanometer akan bergerak. Gerakan tersebut menunjukkan adanya *gaya listrik* yang dihasilkan. Prinsip dasar generator yang mempengaruhi kinerja generator antara lain:

1. Bila hanya sebuah konduktor saja yang diputar dalam sebuah medan magnet, maka gaya listrik yang dihasilkan juga sedikit (kecil).
2. Bila konduktor yang digunakan semakin banyak maka akan dihasilkan gaya listrik semakin besar. Demikian pula bila konduktor diputar semakin cepat di dalam medan magnet, maka bertambah besar pula gaya listriknya.
3. Konduktor yang berbentuk coil (kumparan), jika jumlahnya semakin banyak maka gaya listrik yang terjadi akan semakin besar.

2.3.1. Generator Arus Searah (DC)

Generator DC merupakan alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik searah DC. **Generator DC** terdiri dua bagian, yaitu *stator* dan *rotor*. Stator merupakan bagian mesin DC yang tidak bergerak. Sedangkan rotor adalah bagian bagian mesin DC yang berputar. *Bagian stator* terdiri dari: *rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box*. Sedangkan *bagian rotor* terdiri dari: *komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor*. Prinsip kerja generator DC sama dengan generator AC. Namun, pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa *cincin belah (komutator)*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.7.

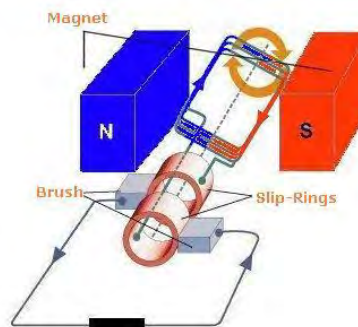


Gambar 2.7. Generator DC

(Sumber: Onny. 2017. Prinsip Kerja Generator AC. artikel-teknologi.com. 6 Oktober 2017)

2.3.2. Generator Arus Bolak-Balik (AC)

Generator Arus bolak-balik atau AC merupakan alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik bolak balik atau AC. Bagian utama generator AC terdiri atas: *magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida), cincin geser, dan sikat*. Pada generator, perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan di dalam medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, perputaran kumparan menimbulkan GGL (Gerak Gaya Listrik) induksi AC. Oleh karena itu, arus induksi yang ditimbulkan berupa arus AC. Adanya arus AC ini ditunjukkan oleh menyalnya lampu pijar yang disusun seri dengan kedua sikat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.8.

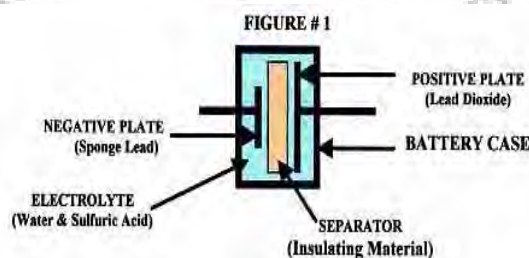


Gambar 2.8 Generator AC

(Sumber: Onny. 2017. Prinsip Kerja Generator AC. artikel-teknologi.com. 6 Oktober 2017)

2.4. Teori Dasar Baterai (Aki)

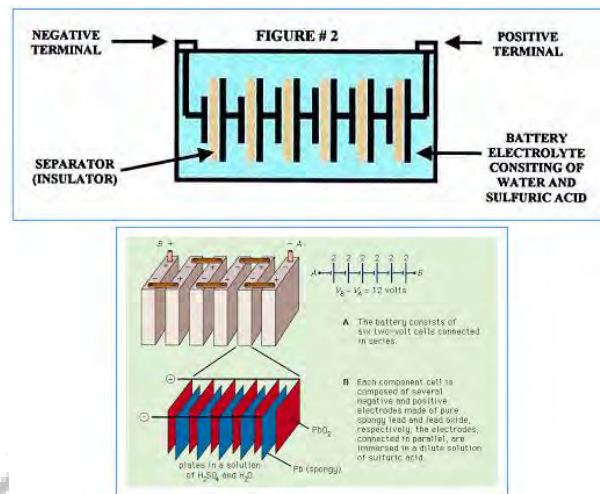
Lead acid battery alias *accu* alias aki adalah suatu alat penyimpan energi listrik yang dapat diisi (*charge*) setelah energi yang digunakan. Kapasitas atau kemampuan menyimpan energi ditentukan oleh semua komponen didalam batere seperti jenis material yang digunakan dan jenis elektrolitnya sehingga dikenal batere asam dan batere alkali. Pada gambar 2.6 tampak konstruksi aki sederhana yang terdiri plat positif terbuat dari *Lead Dioxide* (PbO_2), sedangkan pelat negatif terbuat dari *Sponge Lead* (PB), jika kedua buah pelat ini direndam dalam cairan elektrolit H_2SO_4 akan menimbulkan GGL (gaya gerak listrik) jika diukur dengan volt meter dihubungkan kutub positif PbO_2 dengan kutub negatif PB akan terbaca 2,1 volt.



Gambar 2.9 Konstruksi aki sederhana

(Sumber: *Progressive Dynamics*. 2017. *Battery Basic*. progressivedyn.com. 6 Oktober 2017)

Kesimpulanya, jika kita menginginkan tegangan sebesar 12,6 Volt maka harus dihubungkan secara seri seperti pada gambar 2.10.

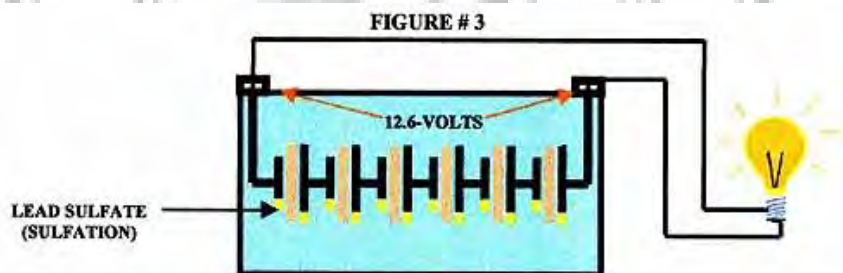


Gambar 2.10 Rangkaian seri pada aki

(Sumber: *Progressive Dynamics*. 2017. *Battery Basic*. progressivedyn.com. 6 Oktober 2017)

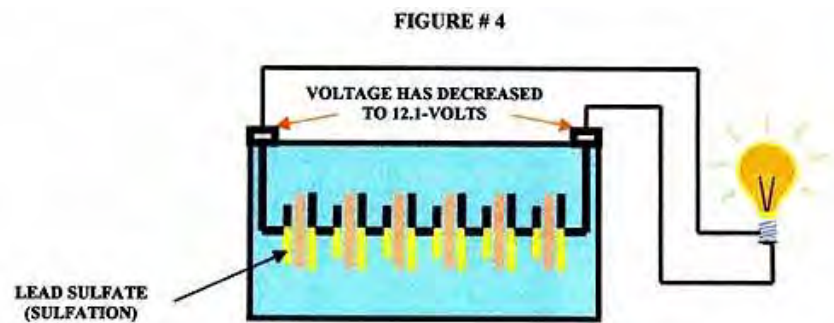
2.4.1. Siklus Pemakaian Aki

Pada gambar 2.8, baterai yang terisi penuh terhubung ke beban (bola lampu) dan reaksi kimia antara asam sulfat dan pelat aki menghasilkan listrik untuk menerangi bohlam. Reaksi kimia pelat aki ini mulai dilapisi mantel baik positif maupun negatif dengan zat yang disebut sulfat timbal (ditampilkan warna kuning). Hal ini normal selama siklus pemakaian aki. Aki terus berkurang, sebagian pelat aki mulai tertutup mantel (*sulfation*) dan akhirnya tegangan akipun mulai menurun dari keadaan terisi penuh 12,6 volt ke 12,1 volt (gambar 2.12).



Gambar 2.11 Aki terisi penuh

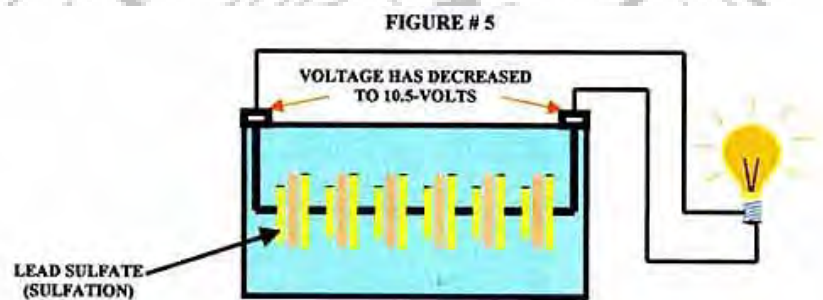
(Sumber: *Progressive Dynamics*. 2017. *Battery Basic*. progressivedyn.com. 6 Oktober 2017)



Gambar 2.12 Penurunan tegangan aki

(Sumber: *Progressive Dynamics*. 2017. *Battery Basic*. progressivedyn.com. 6 Oktober 2017)

Pada gambar 2.13 baterai sepenuhnya habis, pelat aki hampir sepenuhnya ditutupi dengan sulfat timbal (sulfation) dan tegangan turun sampai 10,5 volt.



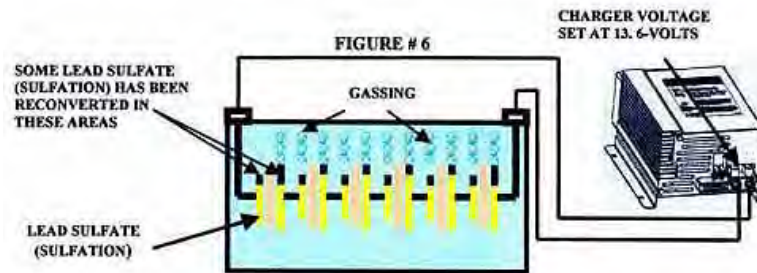
Gambar 2.13 Aki sepenuhnya habis

(Sumber: *Progressive Dynamics*. 2017. *Battery Basic*. progressivedyn.com. 6 Oktober 2017)

Timbal sulfat (*sulfation*) sekarang melapisi sebagian besar pelat aki. Sulfat Timbal adalah bahan yang lembut, yang dapat merupakan dikonversi kembali ke dalam asam sulfat, asalkan aki habis langsung tersambung ke pengisi daya aki. jika tidak langsung dilakukan pengecasan, sulfat timbal akan mulai membentuk kristal keras, yang tidak dapat dikonversi oleh tegangan tetap standar 13,6 volt baterai konverter atau pengisi.

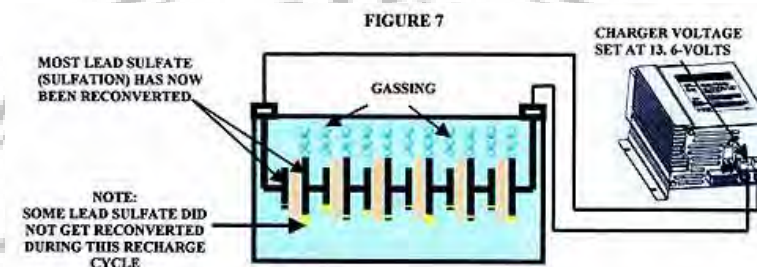
2.4.2. Siklus Pengisian Aki

Aki dalam posisi habis yang ditunjukkan pada gambar 2.14 terhubung ke *charger* atau pengisi daya dengan tegangan *output* biasanya 13,6 volt, untuk mengembalikan SO_4 kembali ke air yang melekat dipelat aki.



Gambar 2.14 Pengisian aki

(Sumber: *Progressive Dynamics*. 2017. *Battery Basic*. progressivedyn.com. 6 Oktober 2017)



Gambar 2.15 Aki sepenuhnya diisi ulang

(Sumber: *Progressive Dynamics*. 2017. *Battery Basic*. progressivedyn.com. 6 Oktober 2017)

Aki ditunjukkan pada gambar 2.15 di atas telah sepenuhnya diisi ulang menggunakan tegangan pengisian tetap 13,6 volt. Aki dapat digunakan kembali. Perhatikan bahwa beberapa sulfat timbal (*sulfation*) masih tetap di atas pelat, agar sepenuhnya pelat aki bersih dari *sulfation* tegangan *output charger* harus berkisar 14,5 – 15 volt.

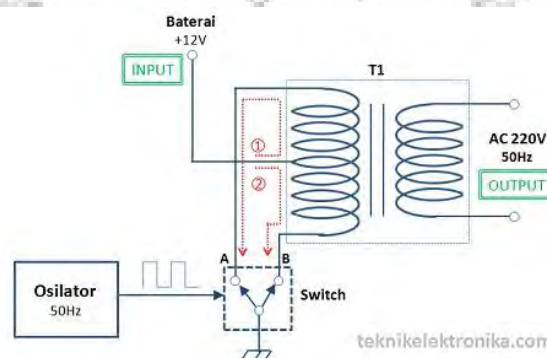
2.5. Pengertian dan Prinsip Kerja Inverter

Power Inverter atau biasanya disebut dengan inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Sumber-sumber arus listrik searah atau arus DC yang merupakan input dari *power inverter* tersebut dapat berupa baterai, aki maupun sel surya (*solar cell*). Inverter ini akan sangat bermanfaat apabila digunakan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan pasokan arus listrik AC.

Karena dengan adanya power inverter, kita dapat menggunakan aki ataupun sel surya untuk menggerakkan peralatan-peralatan rumah tangga seperti televisi, kipas angin, komputer atau bahkan kulkas dan mesin cuci yang pada umumnya memerlukan sumber listrik AC yang bertegangan 220V ataupun 110V.

Bentuk-bentuk gelombang yang dapat dihasilkan oleh *power inverter* diantaranya adalah gelombang persegi (*square wave*), gelombang sinus (*sine wave*), gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*) dan gelombang modulasi pulsa lebar (*pulse width modulated wave*) tergantung pada desain rangkaian inverter yang bersangkutan. Namun, pada saat ini, bentuk-bentuk gelombang yang paling banyak digunakan adalah bentuk gelombang sinus (*sine wave*) dan gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*). Sedangkan frekuensi arus listrik yang dihasilkan pada umumnya adalah sekitar 50Hz atau 60Hz dengan tegangan output sekitar 120V atau 240V. Output daya listrik yang paling umum ditemui untuk produk-produk konsumen adalah sekitar 150 Watt hingga 3000 Watt.

Sederhananya, suatu *power inverter* yang dapat mengubah arus listrik DC ke arus listrik AC ini hanya terdiri dari rangkaian osilator, rangkaian saklar (*switch*) dan sebuah transformator (trafo) CT seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Rangkaian inverter

(Sumber: Dickson Kho. 2017. Pengertian Inverter dan Prinsip Kerjanya. teknikelektronika.com. 5 Oktober 2017)

Sumber daya yang berupa arus listrik DC dengan tegangan rendah (contoh 12V) diberikan ke *Center Tap* (CT) sekunder transformator sedangkan dua ujung transformator lainnya (titik A dan titik B) dihubungkan melalui saklar (*switch*) dua arah ke *ground* rangkaian. Jika saklar terhubung pada titik A akan menyebabkan arus listrik jalur 1 mengalir dari terminal positif baterai ke *Center Tap Primer Transformator* yang kemudian mengalir ke titik A transformator hingga ke *ground* melalui saklar. Pada saat saklar dipindahkan dari titik A ke titik B, arus listrik yang mengalir pada jalur 1 akan berhenti dan arus listrik jalur 2 akan mulai mengalir dari terminal positif baterai ke *Center Tap Primer Transformator* hingga ke *ground* melalui Saklar titik B. Titik A, B dan Jalur 1, 2 dapat dilihat pada gambar 2.13. Peralihan ON dan OFF atau A dan B pada Saklar (*Switch*) ini dikendalikan oleh sebuah rangkaian Osilator yang berfungsi sebagai pembangkit frekuensi 50Hz yaitu mengalihkan arus listrik dari titik A ke titik B dan titik B ke titik A dengan kecepatan 50 kali per detik. Dengan demikian, arus listrik DC yang mengalir di jalur 1 dan jalur 2 juga bergantian sebanyak 50 kali per detik juga sehingga ekuivalen dengan arus listrik AC yang berfrekuensi 50Hz. Sedangkan komponen utama yang digunakan sebagai *switch* di rangkaian *switch* inverter tersebut pada umumnya adalah MOSFET ataupun transistor. Sekunder transformator akan menghasilkan *output* yang berupa tegangan yang lebih tinggi (contohnya 120V atau 240V) tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder transformator atau rasio lilitan antara primer dan sekunder transformator yang digunakan pada Inverter tersebut.

Pada umumnya, tipe inverter yang banyak di pasaran memiliki efisiensi masing masing power inverter berbeda beda antara 85 – 90%, sehingga apabila memakai tipe 1000 Watt maka bisa menggunakan 850 – 900 Watt. Untuk menentukan kebutuhan listrik cadangan anda ditentukan oleh dua hal yaitu: Menentukan tipe watt inverter dengan cara menjumlah beban watt yang akan dilayani. Contoh: Beban listrik yang ingin dilayani oleh inverter sejumlah 450 watt maka anda bisa menggunakan inverter 500 Watt, boleh lebih tetapi tidak boleh kurang.